C.R.I. Clayton
J. Milititsky
R.I. Woods

UNIVERSITA' D. STUDI DI TRENTO
BIBLIOTECA

LA SPINTA DELLE TERRE E LE OPERE DI SOSTEGNO

a cura di
M. Cecconi e G.M.B. Viggiani

HEVELIUS
EDIZIONI

Indice

PARTE I: FENOMENI

1 Comportamento meccanico delle terre 15
1.1 Introduzione 15
1.2 Resistenza e compressibilità dei terreni - il concetto di tensione efficace 16
1.3 Conseguenze per il progetto 24

2 Installazione, costruzione e spostamenti delle opere 27

3 Lo sviluppo della teoria della spinta delle terre 35
3.1 Soluzioni classiche e tensioni efficaci 53

4 Metodi grafici 57
4.1 Metodi grafici per il caso attivo 61
4.2 Determinazione del punto di applicazione della spinta per geometrie complesse 66
4.3 Metodi grafici per la determinazione della resistenza passiva 68

5 Spinte dovute a carichi esterni 75
5.1 Soluzioni elastiche per gli incrementi di tensione orizzontale 77
5.2 Soluzioni basate sulla distribuzione elastica delle tensioni verticali 79
5.3 Metodi empirici 80

6 Spinte dovute al costipamento 83
6.1 Costipamento di terrapieni granulari 83
6.2 Sforzi dovuti al costipamento nei terrapieni argillosi 92

7 Dalla teoria alla pratica 103
7.1 Limiti delle soluzioni classiche 103
7.2 Rammollimento e rottura progressiva 107
7.3 Spostamenti ammissibili 110
7.4 Deformabilità delle opere 110
7.5 Spinta a riposo ed effetti dell'installazione 114

PARTE II: PROGETTO

8 Introduzione al progetto 123
8.1 Stati limite per le strutture di sostegno 123
8.2 Fattori da considerare nella scelta di un'opera di sostegno 125
8.3 Tipi di opere di sostegno 126
8.3.1 Muri a gravità e muri a mensola di cemento armato 127

8.3.2 Palancolate 132
8.3.3 Paratie di diaframmi o di pali trivellati 139
8.3.4 Opere con molti livelli di ancoraggi e puntoni 144
8.3.5 Il rinforzo e l'ancoraggio dei terreni 147
8.4 Caratterizzazione meccanica dei terreni 156
8.4.1 Introduzione 156
8.4.2 Scelta dei parametri di progetto 157
8.4.3 Metodi di indagine 158
8.4.4 Parametri meccanici 165
8.5 Tipi di analisi 173
8.5.1 Metodi dell'equilibrio limite 173
8.5.2 Calcolo automatico 179

9 Muri di sostegno 181
9.1 Stabilità complessiva 182
9.1.1 Valutazione preliminare delle azioni esercitate dal terrapieno 182
9.1.2 Calcolo della spinta 185
9.1.3 Ribaltamento 193
9.1.4 Scorrimento 199
9.1.5 Verifica a carico limite 204
9.1.6 Stabilità globale 209
9.1.7 Cedimenti e rotazioni 210
9.2 Stabilità interna 211
9.2.1 I muri di muratura, muri a gravità a blocchi e muri a gabbioni 211
9.2.2 Muri a catasta 213
9.2.3 Muri a mensola in cemento armato 216
9.2.4 Dimensionamento delle spalle dei ponti sotto la spinta del terreno 218

10 Palancolate 221
10.1 Condizioni della falda 221
10.2 Definizioni del coefficiente di sicurezza 225
10.3 Palancolate a sbalzo 230
10.3.1 Progetto preliminare 230
10.3.2 Determinazione della profondità di infissione e del momento flettente massimo 234
10.4 Progetto di palancolate ancorate 245
10.4.1 Metodo dell'estremo libero 246
10.4.2 Metodo dell'estremo fisso 261
10.4.3 Progetto dell'ancoraggio 275

11 Metodi per il sostegno degli scavi 283
11.1 Influenza del metodo di costruzione 284
11.2 Sistema di sostegno degli scavi 285
11.3 Fase di calcolo 287

11.3.1 Considerazione sulle condizioni della falda 288
11.3.2 Spinte sulla parete 290
11.3.3 Rottura del terreno 292
11.3.4 Caratteristiche della sollecitazione 298
11.3.5 Sforzi nel sistema di contrasto 301
11.3.6 Spostamenti del terreno adiacente allo scavo 304
11.3.7 Stabilità globale 313
11.4 Modelli numerici dei sistemi di sostegno degli scavi 313
11.4.1 Problemi nella modellazione 315
11.4.2 Analisi con il modello a molle di Winkler 318
11.4.3 Analisi agli elementi finiti 320
11.4.4 Analisi alle differenze finite 324
11.4.5 Analisi con elementi di contorno 326
11.4.6 Alcuni esempi di codici di calcolo commerciali 328

12 Rinforzo e ancoraggio dei terreni 333
12.1 Meccanismi di funzionamento dei sistemi di rinforzo dei terreni 333
12.1.1 Miglioramento della resistenza a taglio 333
12.1.2 Forza di rinforzo disponibile 334
12.1.3 Legame tensioni-deformazioni 335
12.2 Componenti di muri di terra rinforzata 336
12.2.1 Il rinforzo 336
12.2.2 Paramento 340
12.2.3 Riempimento 340
12.3 Principi di progettazione 342
12.3.1 Generalità 342
12.3.2 Dimensionamento preliminare 342
12.3.3 Coefficienti di sicurezza 342
12.4 Stabilità esterna 344
12.4.1 Verifica a scorrimento 345
12.4.2 Verifica a ribaltamento 345
12.4.3 Carico limite della fondazione 345
12.4.4 Rottura generale 346
12.5 Stabilità interna 346
12.5.1 Rottura per trazione 348
12.5.2 Rottura per sfilamento 351
12.6 Resistenza allo sfilamento del rinforzo 353
12.6.1 Rinforzo a strisce 353
12.6.2 Rinforzo a barre (chiodature) 355
12.6.3 Rinforzi in geotessile 356
12.6.4 Rinforzi a rete 357
12.6.5 Rinforzi a griglie di polimeri 357
12.6.6 Rinforzi con ancoraggi a barra 358
12.6.7 Sistemi di ancoraggio ibridi 359
12.7 Ancoraggi 365

12.7.1 Tipi di ancoraggio 365
12.7.2 Progetto degli ancoraggi 367
12.7.3 Durevolezza 368
12.8 Resistenza allo sfilamento degli ancoraggi 368
12.8.1 Ancoraggi di tipo A 368
12.8.2 Ancoraggi di tipo B 369
12.8.3 Ancoraggi di tipo C 370
12.8.4 Ancoraggi di tipo D 370
12.8.5 Altri tipi di ancoraggio 371
12.8.6 Valutazione preliminare 372
12.8.7 Coefficienti di sicurezza 372
12.9 Stabilità dei muri ancorati 372
12.9.1 Equilibrio globale 373
12.9.2 Equilibrio locale 374

13 Stabilità dei pendii e filtrazione stazionaria 375
13.1 Applicazioni delle analisi di stabilità dei pendii al progetto delle opere di sostegno 375
13.1.1 Metodi delle strisce 376
13.1.2 Analisi di breve termine 378
13.1.3 Analisi di lungo termine - superfici circolari 379
13.1.4 Analisi di lungo termine - superfici non circolari 382
13.1.5 Parametri e meccanismi 388
13.2 Filtrazione stazionaria ed opere di sostegno 379
13.2.1 Introduzione 379
13.2.2 Piano della falda orizzontale in assenza di moto di filtrazione 379
13.2.3 Moti di filtrazione 391
13.2.4 Analisi di filtrazione 391
13.2.5 Instabilità del fondo 397
13.2.6 Moto di filtrazione per effetto di piogge intense 401
13.2.7 Controllo dell'erosione 403

Appendice A: Metodo di Sarma per la stabilità dei pendii 406

Appendice B: Coefficienti di spinta 412

Bibliografia 439